

Manejo de sistemas productivos**Artículo de investigación científica y tecnológica**

Medios de enraizamiento y aplicación de auxinas en la producción de plántulas de fresa

Rooting media and application of auxins in the production of strawberry seedlings

Cecilia Rocío Juárez-Rosete,¹ Juan Apolinar Aguilar-Castillo,² Rubén Bugarín-Montoya,³
Circe Aidín Aburto-González,⁴ Gelacio Alejo-Santiago^{5*}

¹ Académica-investigadora, Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura y posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Xalisco, México. Correo: cecilia.juarez@uan.edu.mx. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6186-3940>

² Académico-investigador, Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura. Xalisco, México. Correo: aguilarcj@hotmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4994-9084>

³ Académico-investigador, Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura y posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Xalisco, México. Correo: drbugarin@hotmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2652-0368>

⁴ Académica-investigadora, Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura. Xalisco, México. Correo: aidin75@hotmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1941-8795>

⁵ Académico-investigador, Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura y el posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Xalisco, México. Correo: gelacioalejo@hotmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2441-9116>

Editor temático: Alexander Rebolledo Roa (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Fecha de recepción: 16/02/2019

Fecha de aprobación: 17/09/2019

Para citar este artículo: Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo, J. A., Bugarín-Montoya, R., Aburto-González, C. A., & Alejo-Santiago, G. (2020). Medios de enraizamiento y aplicación de auxinas en la producción de plántulas de fresa. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(1), e1319

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1319



Esta licencia permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de la obra de modo no comercial, siempre y cuando se dé el crédito y se licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

*Autor de correspondencia. Universidad Autónoma de Nayarit. Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta. Unidad Académica de Agricultura. Km. 9.0 Carretera Tepic-Compostela. Xalisco, Nayarit. México. CP. 63780.

Resumen

La producción de plántulas de fresa con cepellón es una tecnología de propagación poco difundida con la que se pueden obtener plantas vigorosas, sanas y productivas. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres sustratos y la aplicación de auxinas en la propagación de plántulas de fresa. El experimento se realizó en condiciones de malla sombra, estableciendo estolones primarios de fresa cultivar Chandler en recipientes de poliestireno con alveolos de 118 mL; se colocó un estolón por recipiente. Los tratamientos consistieron en la evaluación de tres tipos de sustratos: perlita, pumita, turba y agua con y sin aplicación de AIB. Se realizaron tres muestreos destructivos a los 42, 58 y 72 días

después del establecimiento. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones, cada una de las cuales consistió en diez plantas, en arreglo factorial. Las variables evaluadas fueron las siguientes: porcentaje de mortandad, altura de planta, diámetro de corona, número de hojas, área foliar, peso fresco y seco del vástago y raíz, calidad del cepellón. Se determinó que el tipo de sustrato influye en el crecimiento de raíz y dosel vegetal, siendo en el sustrato pumita en el que se obtuvieron plántulas de mayor calidad. En general, la aplicación exógena de la auxina no favoreció el desarrollo de las plántulas durante el periodo evaluado.

Palabras clave: auxinas, *Fragaria × ananassa*, plántulas, propagación de plantas, sustratos de cultivo

Abstract

The production of strawberry with root ball is a somewhat spread propagation technology with which vigorous, healthy, and productive plants can be obtained. The purpose of this research was to evaluate the effect of three rooting media and the application of auxins in strawberry seedling propagation. The experiment was carried out under mesh shade conditions, establishing primary stolons of the Chandler strawberry cultivar in polystyrene foam containers with alveolus of 118 mL, and one stolon per container. The treatments comprised three types of substrates: perlite, pumice and peat, and water with and without the application of indol-3-butyric acid (IBA). Three destructive samplings

were carried out at 42, 58, and 72 days after stolon establishment. The experimental design was completely randomized with three replicates, each comprising ten plants in a factorial arrangement. The variables assessed were the following: mortality rate, plant height, crown diameter, number of leaves, leaf area, fresh and dry weight of stem and root, and root quality. The results showed that the type of substrate affects root growth and plant canopy, being pumice the substrate in which higher-quality seedlings were obtained. In general, the exogenous application of auxin did not favor the development of seedlings during the evaluated period.

Keywords: auxins, *Fragaria x ananassa*, plant propagation, seedlings, substrates

Introducción

Las plantas de fresa *Fragaria × anannassa* Duch. (Rosaceae) son clones que se propagan por medio de estolones o plantas hijas, y se trasplantan a raíz desnuda o con cepellón (Ruan, Yoon, Yeouna, Larson, & Ponce, 2009). La obtención de plántula de calidad requiere de clones con calidad genética y fisiológica, y un ambiente favorable para el desarrollo de raíz y vástago (Giménez, Andriolo, Janisch, & Godoi, 2008). Actualmente, en muchas áreas de producción, las tecnologías de propagación de plantas de fresa están poco desarrolladas y las plántulas que se obtienen a menudo son de baja calidad, con bajo contenido de carbohidratos, infecciones de patógenos en la raíz y hongos en la corona, lo que ocasiona que después del trasplante ocurran problemas en el establecimiento exitoso del cultivo de fresa (Ruan et al., 2009).

La producción de plántulas de fresa con cepellón no está muy difundida a pesar de las ventajas que representa, como mayor sanidad, facilidad para la plantación mecanizada (López-Pérez, Cárdenas-Navarro, Lobit, Martínez-Castro & Escalante-Linares, 2005), reducción del consumo de agua al momento del trasplante, incremento del porcentaje de sobrevivencia, ya sea en campo abierto o en invernadero (Durner, Barclay, & Mass, 2002), y rapidez en la entrada en producción (Giménez et al., 2008).

Los estolones para el enraizamiento se clasifican en categorías de acuerdo con el tamaño inicial y el peso, ya que estos factores tienen influencia en el diámetro final de la corona. Takeda y Newell (2006) recomiendan elegir estolones que pesen más de 1 g y que posean un diámetro de corona mínimo de 5 mm. Las plántulas para trasplante en invernadero deben propagarse en contenedores con un volumen de celda de 280-300 cm³, y deben permanecer en éstos hasta cuatro meses antes del trasplante definitivo (Bish, Cantliffe, & Chandler, 2002). Sin embargo, el tiempo no puede ser determinante, ya que el crecimiento y desarrollo de las plantas depende también de otras condiciones como la temperatura y la radiación.

En la producción de plántulas, el uso de sustratos y reguladores de crecimiento es muy frecuente. El sustrato favorece una adecuada distribución de raíces y garantiza abastecimiento de agua, aire y nutrientes a bajas tensiones de humedad; estos factores facilitan un rápido crecimiento y establecimiento de las plantas (Pire & Pereira, 2003). El uso de reguladores de crecimiento es una práctica común para inducir la formación de raíces adventicias en la propagación vegetativa por esquejes (Taiz & Zeiger, 2006). Se emplean principalmente auxinas ácido indol-3-acético (AIA) y ácido indol-3-butírico (AIB) (Medhi, 2002).

El efecto por aplicación de auxinas a las plantas depende de la concentración (Rastogi et al., 2013). El proceso de enraizamiento consta de dos etapas: formación de primordios de raíz y crecimiento de raíces; ambas etapas requieren auxinas y sus necesidades dependen de la especie (Acosta, Sánchez, & Bañón, 2000). En este contexto, el enraizamiento de muchas especies es muy rápido en una gran diversidad de sustratos como suelo, arena, turba, vermiculita, etc. Sin embargo, no existen reportes acerca de un medio de crecimiento apropiado para la producción de plántulas de fresa adicionando auxinas.

Materiales y métodos

El experimento se realizó de junio a agosto del 2016, en condiciones de malla sombra con 35 % de sombreo, en la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, ubicada en las siguientes coordenadas: latitud norte 21°25'36", longitud oeste 104°53'28" a una altitud de 922 m s. n. m. Se utilizaron estolones primarios de fresa de 5 cm de altura cultivar Chandler obtenidos de plantas madre, con 0,5 cm de raíces. Durante el periodo evaluado, las temperaturas mínimas registradas fueron de 17 °C y las máximas registradas fueron de 41 °C. La humedad relativa mínima fue de 30 % y la máxima de 80 %. La intensidad luminosa durante el periodo evaluado fue de 746,9 nmoles m².

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un diseño de tratamientos 4 × 2. Los factores evaluados fueron tres sustratos y una solución

nutritiva. Los cuatro medios de crecimiento se evaluaron con y sin aplicación de auxina sintética, resultando en total ocho tratamientos. Los sustratos fueron los siguientes: perlita, pumita (3-7 mm de diámetro) y turba. Se empleó ácido-indol-3-butírico (AIB) al 0,15 %, preparado en talco agrícola, en una mezcla homogénea, y los estolones se impregnaron en la base y se plantaron en el medio de crecimiento.

La unidad experimental estuvo constituida por un estolón colocado en un recipiente de poliestireno

con capacidad de 118 cm³, con tres repeticiones por tratamiento, cada una de las cuales consistió en diez plantas. El riego con solución nutritiva Steiner (1984) a concentración de 75 % se aplicó diariamente por la mañana en los sustratos. Las plántulas se mantuvieron en condiciones de malla sombra durante todo el periodo experimental. En la tabla 1 se muestran algunas características físicas y químicas de los sustratos, que se determinaron antes de comenzar el ensayo de acuerdo con la metodología señalada por Pire y Pereira (2003).

Tabla 1. Características físicas y químicas de los sustratos utilizados para la producción de plántulas de fresa

Sustratos	Porosidad total (%)	Capacidad de aireación (%)	Capacidad de retención de humedad (%)	pH	CE ^{&} dS.m ⁻¹
Perlita	94,20	37,20	50,78	7,70	1,51
Pumita	90,21	29,10	59,44	7,35	1,32
Turba	94,22	30,36	58,34	7,00	2,62
Solución nutritiva	---	---	---	7,34	0,22

CE[&]: conductividad eléctrica.

Fuente: Elaboración propia

La selección de sustrato se realizó en función del sustrato ideal que planteó Cabrera (1999), quien indicó que el sustrato ideal debe tener mínimo 70 % de porosidad total, 50 % de capacidad de retención de humedad y 20 % de aireación.

Etapas de evaluación y variables cuantificadas

La primera etapa corresponde a los primeros 15 días después del establecimiento (DDE) de los estolones y se evaluó la mortandad de plántulas, ya que representa el periodo crítico de enraizamiento o muerte. Se contabilizaron plántulas que se encontraban con apariencia sana y que no presentaban indicios de una muerte inminente.

La segunda etapa incluyó tres periodos de evaluación a los 42, 58 y 72 DDE, respectivamente, y se cuantificaron las siguientes variables: la altura de plántula y la longitud de raíz con un flexómetro; número de hojas por vástago, contando las hojas completamente expandidas; diámetro de corona de cada plántula, usando un vernier digital. El área foliar se determinó mediante muestreos destructivos y un medidor portátil de área foliar CI-202 CID (BioScience Inc.). El peso (g) fresco de vástago y peso fresco de raíz se cuantificaron en una balanza digital Ohaus® CS2000; para peso seco de vástago y de raíz, el material se secó en una estufa a 70 °C hasta obtener peso constante. La calidad de cepellón se determinó al momento de extraer la plántula del contenedor mediante la escala visual de evaluación

propuesta por Quesada y Méndez (2005): 1, el 100 % del cepellón sale íntegro; 2, sale el 90 % del cepellón; 3, sale el 75 % del cepellón; 4, sale el 50 % del cepellón, y 5, sale menos del 50 % del cepellón. Los análisis estadísticos se realizaron con el *software* estadístico SAS versión 9.4 (Statistical Analysis System, 2004), en los que se realizó un análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de medias por el procedimiento Tukey ($\alpha \leq 0,05$).

Resultados y discusión

La mortandad de las plántulas (15 DDE) en función del sustrato fue de la siguiente manera: turba, 7,5 %; agua, 12,5 %; pumita, 15 %, y finalmente sustrato perlita, 25 %. Esto indica que el tipo de sustrato

tiene efecto en la sobrevivencia, lo que se debe principalmente a las características físicas y químicas de los sustratos.

En estudios realizados con sustratos para la producción de plántulas de especies hortícolas, las características físicas de la turba ayudaron a que las plántulas se mantuvieran con humedad, favoreciendo el desarrollo de las hojas y la acumulación de materia seca (Ortega-Martínez, Sánchez-Olarte, Díaz-Ruiz, & Ocampo-Mendoza, 2010). Otros factores que pudieron influir en el desarrollo de las hojas son la aireación y la temperatura del medio de crecimiento (Calderón, Angulo, Rodríguez, Grijalba, & Pérez, 2013). En el día 72 DDE se presentaron diferencias estadísticas en las ocho variables evaluadas (tabla 2).

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en la producción de plántulas de fresa a los 42, 58 y 72 DDE, respectivamente, después del establecimiento

Variable	Fuente de variación	gl ^s	CME	42 DDE	CME	58 DDE	CME	72 DDE
Altura de plántula	Substrato (S)	3	0,89	0,40	5,38	0,001	26,53	< 0,0001
	Auxinas ($\pm A$)		0,03	0,84	0,13	0,64	60,34	< 0,0001
	S x $\pm A$	1	3,39	0,03	2,99	0,01	7,18	< 0,0001
	CME ^{ss}			0,85		0,58		0,7170
	Pr > F ^{sss}	3		ns		ns		**
Número de hojas	Substrato (S)	3	0,50	0,02	1,00	0,09	4,27	0,0002
	Auxinas ($\pm A$)		0,00	1,00	0,66	0,21	8,16	0,0002
	S x $\pm A$	1	0,33	0,08	1,88	0,01	4,27	0,0002
	CME			0,12		0,38		0,3154
	Pr > F	3		ns		ns		*

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Variable	Fuente de variación	gl ^s	CME	42 DDE	CME	58 DDE	CME	72 DDE
Longitud de raíz	Substrato (S)	3	40,27	<0,0001	4,21	0,27	63,62	< 0,0001
	Auxinas ($\pm A$)		0,58	0,47	5,27	0,20	108,35	< 0,0001
	S x $\pm A$	1	12,08	0,00	8,08	0,08	100,12	< 0,0001
	CME			1,08		2,95		0.5535
	Pr > F	3		ns		ns		**
Diámetro de corona	Substrato (S)	3	2,37	0,05	2,59	0,10	18,98	< 0,0001
	Auxinas ($\pm A$)		0,94	0,27	4,27	0,06	55,95	< 0,0001
	S x $\pm A$	1	5,38	0,003	4,29	0,02	33,66	< 0,0001
	CME			0,72		1,05		1,1476
	Pr > F	3		ns		ns		**
Área foliar	Substrato (S)	3	773,87	< 0,0001	2884,30	0,004	12495,13	< 0,0001
	Auxinas ($\pm A$)		147,38	0,04	44,14	0,75	25325,63	< 0,0001
	S x $\pm A$	1	645,80	< 0,0001	1685,12	0,03	20825,07	< 0,0001
	CME			29,67		427,29		106,4954
	Pr > F	3		*		ns		**
Peso fresco del vástago	Substrato (S)	3	0,79	0,01	1,02	0,13	28,0762	< 0,0001
	Auxinas ($\pm A$)		0,41	0,13	0,18	0,53	58,5937	< 0,0001
	S x $\pm A$	1	0,80	0,01	2,13	0,01	44,9762	< 0,0001
	CME			0,16		0,45		1,1542
	Pr > F	3		ns		ns		**

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Variable	Fuente de variación	gl [§]	CME	42 DDE	CME	58 DDE	CME	72 DDE
Peso seco de vástago	Substrato (S)	3	0,01	0,29	0,11	0,09	1,9225	< 0,0001
	Auxinas ($\pm A$)		0,11	0,01	0,01	0,57	2,3437	< 0,0001
	S x $\pm A$	1	0,07	0,01	0,21	0,01	1,8862	< 0,0001
	CME			0,01		0,04		0,0650
	Pr > F	3		ns		*		**
Peso seco de raíz	Substrato (S)	3	0,03	< 0,0001	0,01	0,21	0,9184	< 0,0001
	Auxinas ($\pm A$)		0,01	0,0004	0,02	0,16	0,5859	0,0007
	S x $\pm A$	1	0,01	< 0,0001	0,09	0,001	0,1909	0,0069
	CME			0,0007		0,01		0,0310
	Pr > F	3		*		ns		*

[§] Grados de libertad, ^{§§} CME = Cuadrado medio del error, ^{§§§} Probabilidad, * significancia al 5 %, ** significancia al 1 %, ns: no significativo.

Fuente: Elaboración propia

Las plántulas tardaron 72 días para poseer las características requeridas para trasplante indicadas por Houchmuth et al. (2006), el tiempo contrasta con lo reportado por Bish et al. (2002), quienes indican un tiempo de cuatro meses, con una temperatura máxima y mínima de 25/15 °C, mientras que las registradas en las condiciones en que se llevó el presente estudio fueron de 40/17 °C, lo que pudo acelerar el crecimiento de las plántulas.

Altura de plántula

La mayor altura de plántula se obtuvo en el sustrato turba a los 72 DDE con un valor 10,33 cm por planta (tabla 3). Estos resultados son similares a los obtenidos por Tehranifar, Poostchi, Arooei y Nematti (2007) en cultivares de fresa Camarosa y Gaviota, establecidas en una mezcla de turba y fibra de coco, donde el crecimiento vegetativo fue mayor en

comparación con las plantas cultivadas en arena y perlita al 100 %. La aplicación de AIB no favoreció la altura de las plántulas, efecto reportado por Medhi (2002) y Rastogui et al. (2013), quienes refieren que la aplicación exógena de auxinas alrededor de las raíces inhibió el crecimiento.

Número de hojas por vástago

Las plántulas que crecieron en perlita, pumita y turba tuvieron mayor número de hojas en comparación con las que crecieron en agua. La aplicación de AIB disminuyó la formación de hojas en las plántulas; en contraste, con la no aplicación de AIB se obtuvo un mayor número de hojas/vástago. A los 72 DDE se obtuvieron en promedio 3,67 hojas/vástago en comparación con el tratamiento con aplicación de AIB, en el que únicamente se tuvieron 2,50 hojas/vástago (tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medias para las variables evaluadas en la producción de plántulas de fresa a los 42, 58 y 72 después del establecimiento en función de los sustratos y de la aplicación exógena de AIB como enraizador

Variable evaluada	Fuente de variación	42 DDE	58 DDE	72 DDE
Altura de plántula (cm)	Perlita	3,25 a	3,41 b	8,66 b
	Pumita	3,00 a	4,25 b	8,91 ab
	Turba	3,83 a	5,58 a	10,33 a
	Agua	3,91 a	4,00 b	3,00 c
	Con auxinas	3,45 a	4,20 a	6,04 b
	Sin auxinas	3,54 a	4,41 a	9,41 a
Número de hojas	Perlita	2,33 a	2,50 a	3,50 a
	Pumita	2,16 ab	3,00 a	3,33 a
	Turba	2,16 ab	3,00 a	3,66 a
	Agua	1,66 b	2,16 a	1,83 b
	Con auxinas	2,08 a	2,50 a	2,50 b
	Sin auxinas	2,08 a	2,83 a	3,66 a
Diámetro de corona (cm)	Perlita	5,42 ab	6,06 a	8,09 a
	Pumita	6,14 a	5,97 a	8,72 a
	Turba	5,55 ab	6,54 a	8,69 a
	Agua	4,61 b	7,41 a	4,99 b
	Con auxinas	5,23 a	6,07 a	6,10 b
	Sin auxinas	5,63 a	6,92 a	9,15 a
Longitud de raíz (cm)	Perlita	11,50 a	14,12 a	14,25 a
	Pumita	8,50 b	12,87 a	14,50 a
	Turba	10,50 a	14,50 a	14,75 a
	Agua	5,62 c	12,62 a	8,00 b
	Con auxinas	8,87 a	12,81 a	10,75 b
	Sin auxinas	9,18 a	13,75 a	15,00 a

(Continúa)

(Continuación tabla 3)

Variable evaluada	Fuente de variación	42 DDE	58 DDE	72 DDE
Peso fresco del vástago (g)	Perlita	1,40 ab	3,65 a	7,70 b
	Pumita	1,85 a	3,65 a	9,27 ab
	Turba	1,80 a	4,05 a	10,32 a
	Agua	1,07 b	3,05 a	5,35 c
	Con auxinas	1,40 a	3,51 a	6,60 b
	Sin auxinas	1,66 a	3,68 a	9,72 a
Peso seco de vástago (g)	Perlita	0,32 a	0,87 a	1,87 a
	Pumita	0,40 a	0,80 a	2,30 a
	Turba	0,37 a	0,95 a	2,25 a
	Agua	0,27 a	0,62 a	1,07 b
	Con auxinas	0,27 b	0,78 a	1,56 b
	Sin auxinas	0,41 a	0,83 a	2,18 a
Peso seco de raíz (g)	Perlita	0,12 b	0,37 a	0,50 c
	Pumita	0,25 a	0,35 a	0,82 b
	Turba	0,15 b	0,35 a	1,15 a
	Agua	0,07 c	0,25 a	0,25 c
	Con auxinas	0,12 b	0,36 a	0,52 b
	Sin auxinas	0,17 a	0,30 a	0,83 a

Letras diferentes en columnas indican diferencia estadística.
Fuente: Elaboración propia

Diámetro de corona

Para el diámetro de corona no hubo diferencias significativas durante los primeros dos muestreos. Sin embargo, en la tercera etapa los tratamientos de sustratos sólidos superaron en 58 % en diámetro de corona al sustrato líquido en el que se obtuvieron 4,99 mm.

Los resultados son similares a los que obtuvo Türkben (2008) en medios de enraizamiento a base de suelo, estiércol de vaca y arena (1:1:1); obtuvo diámetros de corona de 8,4 mm en fresa cv. Brio, Pocahontas y Selva. Sin embargo, es importante señalar que, en este ensayo, los diámetros de corona obtenidos en los distintos tratamientos en las plántulas, a los 72 días después del establecimiento en el medio de

cultivo, están por debajo de lo que reportan Bartczak, Pietrowska, y Kanaflowski (2007), quienes obtuvieron diámetros de corona de 18 mm en el cultivar Elsanta, enraizados en lana de roca, y coronas de 10 mm para el cultivar Honeoye, enraizadas en una mezcla de carbón con lana de roca molida; cabe mencionar que estos diámetros se consiguieron a los 100 DDE. Además, mencionan que el diámetro de corona es un buen indicador de la intensidad del crecimiento de la planta y del rendimiento. Durner et al. (2002) establecieron 8 mm como el valor mínimo del tamaño de corona para la propagación. El diámetro de corona es importante en una plántula de fresa, ya que representa el vigor y la cantidad de reservas que la plántula tendrá para poder crecer y desarrollarse (Carrillo-Mendoza, Rodríguez-Alcázar, & López-Jiménez, 2005). En este sentido, la aplicación de AIB no favoreció para la obtención de un mayor diámetro de corona.

Longitud de raíz

El sustrato pumita fue el que más favoreció el desarrollo radicular (14,50 cm) a partir de los 58 DDE (tabla 3). Dicha respuesta pudo estar favorecida por las características físicas y químicas de este material, entre las que destacan la alta porosidad (28,21 %) y retención de humedad de 9,44 %, lo que representó una mejor oxigenación de la raíz. Sin embargo, a los 72 DDE, no se presentaron diferencias significativas en la longitud de la raíz de las plántulas crecidas en perlita (14,50 cm), pumita (14,75 cm) y turba (14,25 cm).

Los resultados del presente estudio son superiores a los obtenidos por Türkben (2008), quien en distintos medios de enraizamiento como suelo:estiércol de vaca:arena (1:1:1); turba:perlita + nutrientes (1:1) y suelo:turba:perlita:arena:estiércol de vaca (0,75:1:1:0,75:0,5) registró longitud de raíz de 10,59 cm, 10,08 cm y 11,14 cm, respectivamente. Durante las tres etapas de evaluación se observó que en el

tratamiento en agua se obtuvo la menor longitud de raíz.

El tratamiento sin AIB tuvo mayor longitud de la raíz (tabla 3). Se deduce que la concentración endógena de auxinas en los estolones es suficiente para que desarrollen la raíz, ya que son estructuras con alta actividad meristemática, por lo que no se recomienda utilizar auxinas exógenas para asegurar el enraizamiento. Taiz y Zeiger (2006) indicaron que las células de la raíz suelen contener auxina suficiente o casi suficiente para la elongación normal, además de que muchas raíces cortadas crecen *in vitro* durante días o semanas sin necesidad de agregar auxina, lo que indica que su posible necesidad de esta hormona queda satisfecha por su capacidad para sintetizarla.

La aplicación exógena de auxinas disminuye la respuesta del estolón para producir raíces y aumentar su longitud, lo que puede deberse a que al separar el estolón de la planta madre pueden producirse cambios en la respuesta a la aplicación exógena de auxinas que inhiben la elongación de raíces, de acuerdo con lo señalado por Medhi (2002).

Área foliar

El desarrollo de área foliar que presentaron las plántulas establecidas en pumita, en los tres momentos de evaluación, se ubicaron en el grupo estadístico con mayor área foliar, y las que crecieron en agua registraron menor área foliar (figura 1).

El menor desarrollo de área foliar en agua pudo deberse a la falta de oxigenación de este sustrato y a la baja absorción de nutrientes por la raíz. En la figura 2 se presenta el comportamiento entre los tratamientos con y sin AIB, se aprecia que la aplicación de AIB afectó la acumulación de área foliar; esto puede deberse a que cuando no se utilizan auxinas se favorece la formación de raíces en el estolón y, por tanto, el desarrollo de las hojas.

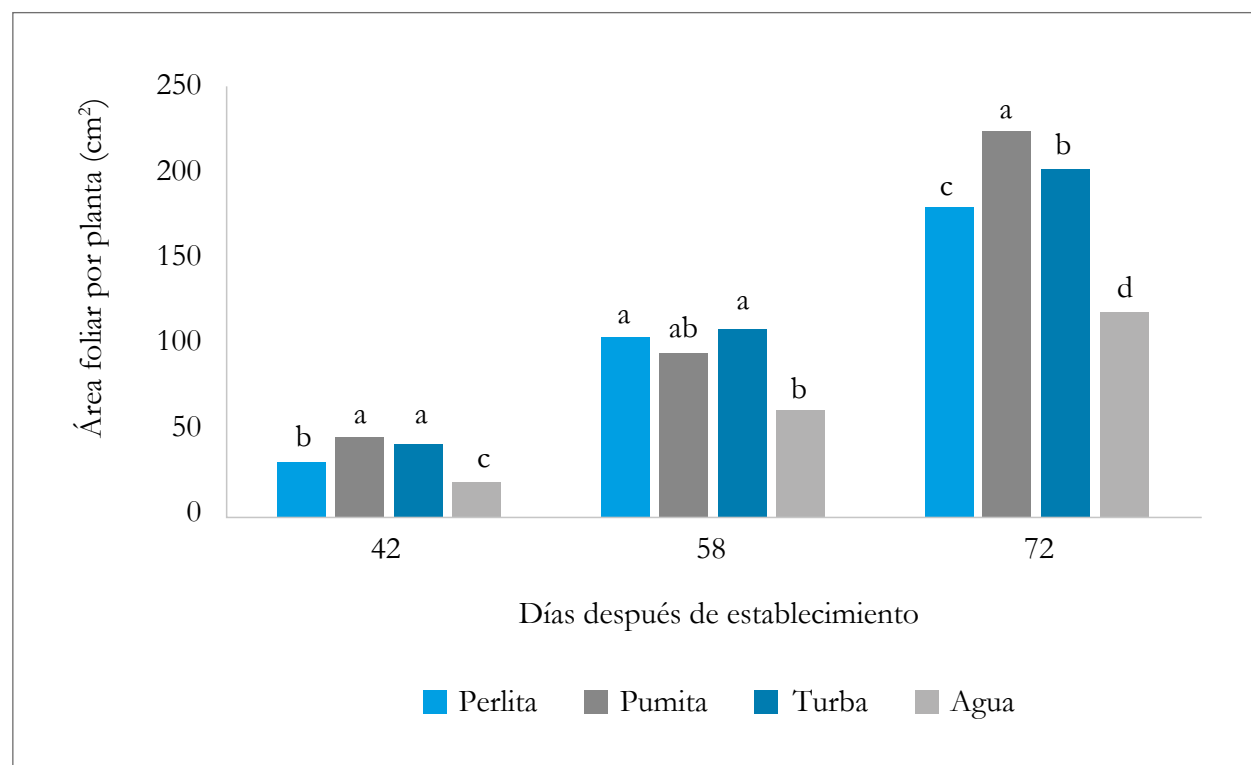


Figura 1. Desarrollo de área foliar en plántulas de fresa cv. Chandler, por efecto de diferentes sustratos.

Fuente: Elaboración propia

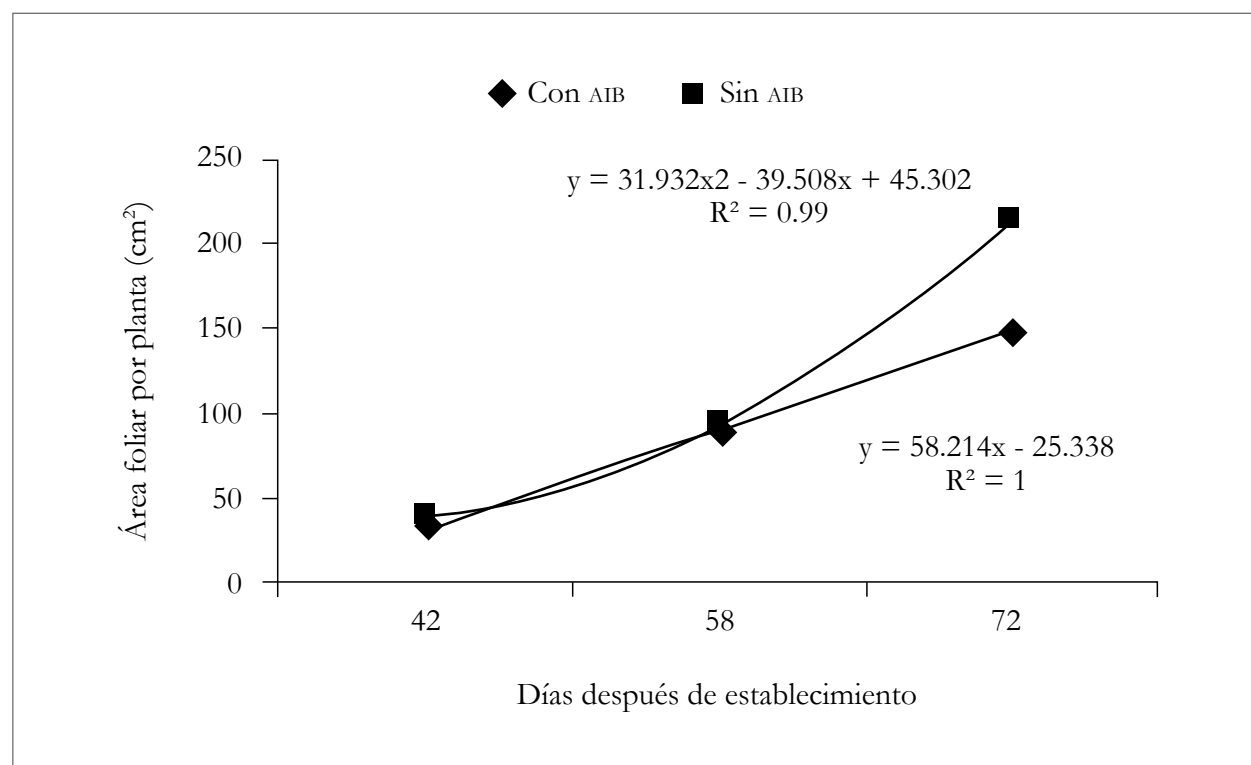


Figura 2. Efecto de la aplicación del AIB en producción de área foliar en plántulas de fresa cultivar Chandler.

Fuente: Elaboración propia

Peso fresco y seco del vástago

El peso fresco del vástago no mostró diferencias entre tratamientos durante los 42 y 58 DDE de los estolones; en el tercer muestreo con el tratamiento con turba se obtuvo un peso fresco de 10,32 g.

Estos resultados son similares a los encontrados en otros cultivares de fresa como Festival (14,23 g) y CP-Zamorana (11,52 g), que fueron propagadas en camas de cultivo con suelo (Rodríguez-Bautista, Calderón-Zavala, Jaen-Contreras, & Curiel-Rodríguez, 2012) y hay una notable diferencia en comparación con los estolones que se colocaron en agua (5,35 g). La aplicación exógena de AIB no incrementó el peso fresco. Sin la aplicación de AIB se incrementó la acumulación de materia fresca de las plántulas. El peso seco de vástago se incrementó con el uso de sustratos sólidos (perlita, pumita y turba) en comparación con la utilización de agua como sustrato (tabla 3), cuyo resultado es 50 % menor a lo reportado por Rodríguez-Bautista et al. (2012), quienes en fresa CP-Zamorana obtuvieron 4,74 g de peso del vástago.

Peso seco de la raíz

A los 72 DDE, el tratamiento con turba y pumita destacaron en la obtención de mayor peso seco de raíz con 1,15 y 0,82 g, respectivamente. Estos valores son más bajos que los reportados por Carrillo-Mendoza et al. (2005) de 1,54 g por planta. En el tratamiento sin auxinas exógenas AIB se incrementó la acumulación de materia seca total, tanto de raíz como de los órganos vegetativos.

Calidad de cepellón

El sustrato pumita obtuvo el valor de 1 debido a que logró 100 % de integridad del cepellón, presentando buen porte y facilidad de desprendimiento del contenedor utilizado. El sustrato que mostró com-

pactación fue la turba y su calificación fue de 2 con 90 % de integridad en el cepellón, ya que suelta partes de sustrato y presenta algunas cuarteaduras al ser separado del contenedor. Al cepellón formado con el sustrato perlita le fue asignado el número 4 según la escala que propuso Quesada y Méndez (2005), ya que al desprenderse del contenedor utilizado salió al menos el 50 % del cepellón y, por lo tanto, no es apto para que sea utilizado para la producción de plántulas de fresa con cepellón.

Conclusiones

La utilización de pumita como sustrato permite la obtención de plántulas de mayor calidad, en comparación con los sustratos perlita, turba y agua. Las plántulas que crecieron en pumita superaron en área foliar a los demás sustratos. En cuanto a la altura de plántula, diámetro de corona, número de hojas, peso fresco y seco de vástago, y longitud de raíz se ubicó estadísticamente entre los sustratos que tuvieron los valores más altos. La aplicación exógena de AIB en estolones de fresa, afectó la obtención de plántulas de calidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo que brindó la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, México, por las facilidades brindadas para que el estudio se pudiera realizar en sus instalaciones.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Acosta, E. M., Sánchez B. J., & Bañón A. M. (2000). Auxinas. En J. Azcón-Bieto, & M. Talón (Coords.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (pp. 305-323). Madrid, España: Ediciones McGraw Hill Interamericana.
- Bartczak, M., Pietrowska M., & Kanaflowski, M. (2007). Effect of substrate on vegetative quality of strawberry plants (*Fragaria × ananassa* Duch.) produced by a Soilless Method. *Folia Horticulturae*, 19(2), 39-46. Recuperado de [http://www.ptno.ogr.ar.krakow.pl/Wydawn/Folia Horticulturae/Spisy/FH2007/PDF19022007/fh1902p04.pdf](http://www.ptno.ogr.ar.krakow.pl/Wydawn/FoliaHorticulturae/Spisy/FH2007/PDF19022007/fh1902p04.pdf)
- Bish, E. B., Cantliffe, D. J., & Chandler C. K. (2002). Temperature conditioning and container size affect early season fruit yield of strawberry plug plants in winter, Annual Hill Production System. *Hortscience*, 37(5), 762-764. doi:10.21273/HORTSCI.37.5.762.
- Cabrera R. I. (1999). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5(1), 5-11. doi:10.5154/r.rchsh.1998.03.025.
- Calderón, M. L. A., Angulo, R. D. C., Rodríguez, C. D., Grijalba, R. C. M., & Pérez, T. M. M. (2013). Evaluación de materiales para el acolchado de la fresa cultivada bajo invernadero. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 9(1), 8-19. doi:10.18359/rfcb.352.
- Carrillo-Mendoza, O., Rodríguez-Alcázar J., & López-Jiménez, A. (2005). Aplicación foliar de urea y sacarosa y su efecto en el acondicionamiento de la planta de vivero y producción de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) "CP 99 3A". *Agrociencia*, 39(2), 195-204. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/302/30239207.pdf>.
- Durner, E. F., Barclay, P. E., & Mass, J. L. (2002). Recent advances in strawberry plug transplant technology. *HortTechnology*, 12(4), 545-550. Recuperado de <http://horttech.ashspublications.org/content/12/4/545.full.pdf+html>.
- Giménez, G., Andriolo, J. L., Janisch, D., & Godoi, R. (2008). Closed soilless growing system for producing strawberry bare root transplants and runner tips. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 43(12), 1757-1761. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/pab/v43n12/v43n12a16.pdf>.
- Hochmuth, G., Cantliffe, D., Chandler, C., Bish, E., Waldo E., Legard, D., & Duval, J. (2006). Containerized strawberry transplants reduce establishment-period water use and enhance early growth and flowering compared with bare-root plants. *Horttechnology*, 16(1), 46-54. doi:10.21273/HORTTECH.16.1.0046.
- López-Pérez, L., Cárdenas-Navarro, R., Lobit, P., Martínez-Castro, O., & Escalante-Linares, O. (2005). Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(2), 171-174.
- Medhi, N. S. S. (2002). Plant growth hormones: Growth promoters and inhibitors. En M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of plant and crop physiology* (pp. 501-526). Nueva York, EE. UU.: Marcel Dekker Inn.
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Díaz-Ruiz, R., & Ocampo-Mendoza, J. (2010). Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Ra Ximhai*, 6(3), 365-372. Recuperado de <http://www.uaem.mx/webraximhai/Ej-18articulosPDF/02-Tomate%20bajo%20condiciones%20de%20invernadero.pdf>.
- Pire, R., & Pereira, A. (2003). Propiedades físicas de componentes de sustratos de común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro*, 15(1), 55-64. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85715107>.
- Quesada, R. G., & Méndez, S. C. (2005). Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana*, 16(2), 171-183. doi:10.15517/am.v16i2.11870.
- Rastogi, A., Siddiqui, A., Mishra, B. K., Srivastava, M., Pandey, R., Misra, P., ... Shukla, S. (2013). Effect of auxin and gibberellic acid on growth and yield components of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 13, 136-143. doi:10.1590/S1984-70332013000200006.
- Rodríguez-Bautista, G., Calderón-Zavala, G., Jaen-Contreras, D., & Curiel-Rodríguez, A. (2012). Capacidad de propagación y calidad de planta de variedades mexicanas y extranjeras de fresa. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 18(1), 113-123. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v18n1/v18n1a8.pdf>.
- Ruan, J., Yoon, C., Yeouna, Y., Larson, K. D., & Ponce, L. (2009). Efficacy of highland production of strawberry transplants. *African Journal of Biotechnology*, 8(8), 1497-1501. Recuperado de <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/60189/48441>.
- Statistical Analysis System (sas Institute). (2004). SAS User's Guide Version 9.4. Cary, EE. UU.: Autor.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. En International Society for Soilless Culture, *Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-650). Wageningen, Holanda: Secretariat of ISOSC.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). Desarrollo de la raíz. En *Fisiología Vegetal* (pp. 664-669). Castelló de la Plana, España: Universitat Jaume.
- Takeda, F., & Newell, M. (2006). A method to increasing fall flowering in short-day carmine strawberry. *Hortscience*, 41(2), 480-481. doi:10.21273/HORTSCI.41.2.480.
- Tehrani, A., Poostchi, M., Arooei, H., & Nemati, H. (2007). Effects of seven substrates on qualitative and quantitative characteristics of three strawberry cultivars under soilless culture. *Acta Horticulturae*, 761, 485-488. doi:10.17660/ActaHortic.2007.761.67.
- Türkben, C. (2008). Propagation of strawberry plants in pots: effect of runner order and rooting media. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 2(4), 1-4. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.504.5095&rep=rep1&type=pdf>.